



TITLE:

粉碎方法および粒度の異なる抹茶の流動性

AUTHOR(S):

沢村, 信一; 原口, 康弘; 安田, 正俊; 松坂, 修二

CITATION:

沢村, 信一 ...[et al]. 粉碎方法および粒度の異なる抹茶の流動性. 日本食品科学工学会誌: Nippon shokuhin kagaku kogaku kaishi 2009, 56(2): 103-107

ISSUE DATE:

2009-02

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/153375>

RIGHT:

日本食品科学工学会

粉碎方法および粒度の異なる抹茶の流動性

沢村信一[§], 原口康弘, 安田正俊*, 松坂修二**

株式会社伊藤園

* 有限会社 IMP

** 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻

Flowability Properties of Matcha Varying with Particle Size and Milling Method

Shin-ichi Sawamura[§], Yasuhiro Haraguchi, Masatoshi Yasuda* and Shuji Matsusaka**

ITO EN Co., Ltd., 21 Mekami, Makinohara, Shizuoka, 421-0516

* IMP Co., Ltd., 67-20 Ichibu-cho, Ikoma, Nara 630-0222

** Department of Chemical Engineering, Katsura Campus, Kyoto University, Kyoto 615-8510

Matcha, powdered green tea, is difficult to handle in the factory or manufacturing facilities due to its small particle size and low density. In the present study, the powder flowability properties of various matcha samples were investigated using a dynamic powder flow tester with high detection sensitivity to facilitate machine handling during matcha manufacturing. The sample powders were prepared from tea leaves picked during different seasons (i.e. the first, second, third, and fourth crops) using a stone mill or ball mill. Matcha ground with the electrostatically charged stone mill showed poor flowability, whereas that ground with the ball mill showed fairly good flowability. The fine and coarse powders classified after ball-milling had different characteristics. Furthermore, it was found that the electrostatic discharge of matcha can improve flowability, depending on humidity. (Received Jul. 30, 2008 ; Accepted Nov.17, 2008)

Keywords : flowability, matcha, mill, particle size

キーワード : 抹茶, 流動性, 粉碎, 粒子径

本来, 抹茶とは覆い下茶園で栽培された一番茶を蒸熱・冷却・乾燥し, 石臼で粉碎したものをいう。しかし, 加工用には価格面から安価な茶が使用される場合や, 大量生産向けの種々の粉碎機が用いられる場合がある。石臼の生産能力は1日で1kg程度であり, 大量生産には数十から数百台の石臼が必要になる。これに対して, ボールミルやジェットミルでは1日で数百kgの粉碎が可能である。粉碎機の違いは微妙な粒度の違いとして現れ, お点前には石臼挽きの抹茶が適している¹⁾。

抹茶の生産量に関する明確な資料はないが, 碾(てん)茶の生産量などから推測した量は, 年間2500トン程度であり, 1990年ころから急激に増加している。お点前に使用される量は, 年間400トン程度と推定されほぼ一定である。すなわち, 生産される抹茶の多くが食品原料として加工用に使用されている。本稿では加工用に種々の方法で粉碎さ

れたものを含めて抹茶として扱う。

粉碎した抹茶は, 保存・運搬のために容器に充填される。この工程は一部機械化されているが, 抹茶の流動性が良くないため, 多くの場合は手作業によっている。また, 食品製造現場でも, 抹茶は軽量で粒度が細かく, 飛散・付着が見られるので扱いにくい素材である²⁾。

食品素材分野では, 粉体の流動性に関する研究がほとんど行われておらず, 医薬品などに配合されるでんぷんにおける試験結果が報告されている程度である³⁾⁴⁾。

従来, 粉体の流動性の評価には Carr の流動性指数⁵⁾⁶⁾ (安息角・圧縮度・スパチュラ角・均一度の総合指数) が使用されてきた。しかし, 粉体の流動性を詳細に評価するには, 流動開始条件, 流動時の流量, 流動安定性などに関する測定結果が必要である。本研究では, 抹茶の充填や作業を機械化する目的で, 抹茶について上記の流動性の諸測定を実施して評価した。

実験方法

1. 試料および粉碎方法

試験に供した抹茶は, 以下のものである。

[†] (前報, 文献) 原口康弘, 今田幸男, 沢村信一, 加工用微粉抹茶の製造と性質, 食科工, 50, 468-473 (2003)

〒421-0516 静岡県牧之原市女神 21

* 〒630-0222 奈良県生駒市老分町 67-20

** 〒615-8510 京都市西京区京都大学桂

[§] 連絡先 (Corresponding author), s-sawamura@itoen.co.jp

試験-1 では 4 種類の抹茶を使用した。1) 石臼粉碎抹茶 (一番茶使用) (以下, 石臼抹茶), 2) ボールミル粉碎抹茶 (三番茶使用) (以下, ボールミル抹茶), 3) ボールミルで粉碎後分級した微粉抹茶 (二番茶使用) (以下, 微粉抹茶), 4) ボールミル粉碎後分級した粗粉抹茶 (以下, 粗粉抹茶), レーザー回折/散乱式粒度分布測定装置で測定した質量基準中位径 (メディアン径, 以下, 中位径という) はそれぞれ 11.4, 12.7, 5.0, 30.4 μm であった。微粉抹茶と粗粉抹茶は, 同一のボールミル抹茶から 10 μm で分級した。

試験-2 では摘採時期の異なる 3 種類の抹茶を使用した。1) 石臼粉碎抹茶 (一番茶使用) (以下, 石臼一番抹茶), 2) 石臼粉碎抹茶 (一番茶と二番茶の混合物を使用) (以下, 石臼二番抹茶), 3) 石臼粉碎抹茶 (四番茶使用) (以下, 石臼四番抹茶), 中位径はそれぞれ 8.3, 11.1, 16.5 μm であった。一番茶の摘採時期は地域により多少異なるが, 4 月中旬から 5 月下旬にかけてであり, 二番茶は一番茶の収穫後 30~35 日後, 三番茶はさらにその 30~35 日後の摘採となる。四番茶は 10 月中旬から 11 月にかけて摘採される。一般に, 摘採時期が遅くなるにつれて, 茶葉が厚く固くなるということが知られている。これによって, 石臼で粉碎したときに中位径が大きくなる傾向がある。

使用した粉碎機は以下の通りである。石臼は, 直径 35 cm, 上臼重量約 20 kg, 電動回転式で回転数 45 rpm のものを使用した。ボールミルは (株)マキノ製 BM-400 型を使用した。ボールミルで粉碎した抹茶の分級は, 日本ニューマチック (株) 製気流分級機 DSX-2 型を用いた。

2. 流動性および各種物性測定

抹茶の流動性試験には, 粉粒体流動性試験装置 (IMP 製: DPF-02) を用いた。同装置は, 少量の粉粒体で流動開始, 流動流量, 流動安定性などを測定するものである^{7)~9)}。装置は, ホッパー, 粒子を充填・排出させる振動管, 振動管を水平方向に振動させる圧電素子, レーザー振動計, 排出粒子量の測定部, 振動の制御部およびパソコンから構成される。なお, 振動管は内径 10 mm, 長さ 250 mm の直管を用い, 振動数 300 Hz, 傾斜角 20 度の条件で測定した (図 1)。

粒度測定は, レーザー回折/散乱式粒度分布測定装置 ((株)島津製作所製: SALD-2100) を用い, 屈折率 1.60-0.10i で測定した。試験 2 では, 表面電位計 (SMC (株) 製: IZH 10) を用いて抹茶の帯電状態を測定し, 除電器 ((株)島津製作所製: STABLO) を用いて除電した。

また, 参考として, 従来法によるかさ密度, 安息角, スパチュラ角, 均一度を測定し, Carr の流動性指数を算出した。

3. 試験-1

粉碎方法, 粒度, 摘採時期の異なる 4 種類の抹茶を使用した。すなわち, 1) 石臼, 2) ボールミルによる粉碎, 分級による 3) 微粉, 4) 粗粉である。摘採時期は, 一番茶・二番茶・三番茶を用いた。

各抹茶を粉粒体流動性試験装置の振動管に 5 g 充填し,

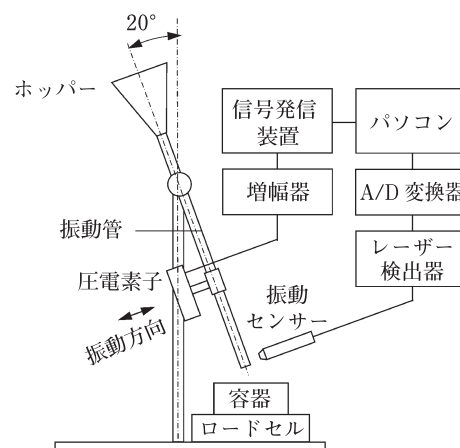


図 1 粉粒体流動性試験装置の概略構成

出口を塞いだ状態で一定の振動 (300 Hz , 160 m/s^2) を 10 秒間与えて, 振動管内部の抹茶を均一に充填した。その後, 圧電素子 (図 1) に印加する電圧を自動制御によって変化させることにより, 振動管の振幅を一定の割合で増加させて流下 (排出) する抹茶の量を測定し, 各抹茶の流動開始と終了時の振動加速度を求めた。通常の粉粒体流動性試験では, 試料は測定終了時まで振動管内を満たしているが, 本実験では, 抹茶の流動状態を考慮して, 振動管には排出口径の少し大きい直管 (内径 10 mm) を用いており, 投入した試料をすべて排出させることにした。測定時の関係湿度 (以下, 湿度と略す) は 45% であった。

4. 試験-2

摘採時期の異なる石臼粉碎の抹茶を用いて, 流動性に及ぼす帯電の影響を比較した。試験に供した試料は, 一番茶, 一番茶と二番茶の混合物, 四番茶の 3 種類とした。流動性の測定方法は, 試験-1 と同じである。測定時の湿度は, 70% および一部の測定を 62% で行った。各試験の湿度管理は, 室内のエアコンディショナーによって制御した。抹茶の帯電量の違いは, あらかじめ表面電位計で測定し, 十分除電可能なことを確認したうえで, 除電による流動性への影響を評価した。

実験結果および考察

従来法 (Carr 法) による抹茶の流動性の測定結果を表 1 に示す。かさ密度, 安息角, スパチュラ角, 均一度から流動性指数を算出した。石臼とボールミルで粉碎した抹茶を比較すると, 各項目の指数の違いはわずかであり, この程度の差であれば, 流動性はいずれも「やや悪い」という評価になり, 両者の違いを明確に捉えることはできなかった。

また, 食品素材をボールミルで処理したときに安息角が経時的に変化するという事例が, ポテトスターチを用いた実験に基づいて報告されているが³⁾, これは, ポテトスターチの粉碎効果よりも, でんぷん粒の表面構造の変化による

表 1 従来法（かさ密度・安息角・スパチュラ角・均一度）による抹茶の流動性の評価
（使用した抹茶は、本試験に用いた抹茶とは異なる）

使用抹茶	かさ密度（度）		安息角 （度）	スパチュラ角 （度）	均一度 （－）	Carr の流動性 指数	評価
	（緩め）	（固め）					
石臼粉碎一番茶	実測値	0.25	0.48	48	91	3	やや悪い
	指数	0	12	4.5	23	39.5	
ボールミル粉碎 一・二番茶	実測値	0.27	0.48	46	79	3.9	やや悪い
	指数	2	14.5	7	23	46.5	

表 2 抹茶の流動性評価（試験-1）

	質量基準 中位径 (μm)	振動加速度 (m/s ²)		
		流動開始	流動終了〔終了－開始〕	
石臼抹茶	11.4	54	128	74
ボールミル抹茶	12.7	58	64	6
微粉抹茶	5.0	54	86	32
粗粉抹茶	30.4	109	144	35

ものといわれており、食品素材の流動性の評価における安息角の適用性については、材料毎に検証が必要である。

実際、種々の抹茶を取り扱うと、充填・包装の容易なものや困難なものがあり、品質管理のために、抹茶をサンプリングして、安息角などの測定が行われたが、流動性の違いを十分に評価することは難しかった。

1. 試験-1

図 2 から図 4 に流動性試験の結果（それぞれ、3 回の測定値の平均）を示す。縦軸は単位時間あたりに排出された粒子の質量（すなわち、質量流量）、横軸は振動加速度で表したものである。振動加速度は、 $a(2\pi f)^2$ 、 a ：振幅（m）、 f ：周波数（Hz）で定義される。

石臼抹茶は、流動開始から終了までの時間が長く、粒子が流下するのが間欠的になる傾向にあった。また、最大振動を与えても振動管に充填したすべての抹茶は流下せず、管内に残留した（図 2）。ボールミル抹茶は、流動開始と終了の間が短く、一挙に流下した（図 3）。ボールミル抹茶を分級した微粉抹茶と粗粉抹茶は、元のボールミル抹茶と全く異なる流動性を示した。すなわち、微粉抹茶は、流動開始から徐々に流下していき、最後に一挙に流下した、粗粉抹茶は、流動開始が遅く、徐々に流下し、最後に一挙に流下した（図 4）。

表 2 に、流動開始振動加速度と流動終了加速度を求めた結果をまとめて示す。石臼抹茶・ボールミル抹茶・微粉抹茶は、ほぼ同じ振動加速度（54～58 m/s²）で流動を開始した。これに対して、粗粉抹茶は 109 m/s² であり、流動を開始するのに強い外力を要した。

石臼抹茶は、流動開始から終了までの振動加速度の差が 74 m/s² と大きく、流動性に広い分布が見られた。ボールミ

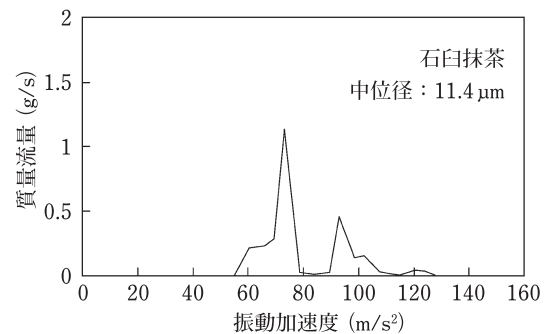


図 2 石臼抹茶の流動性試験（湿度 45%）

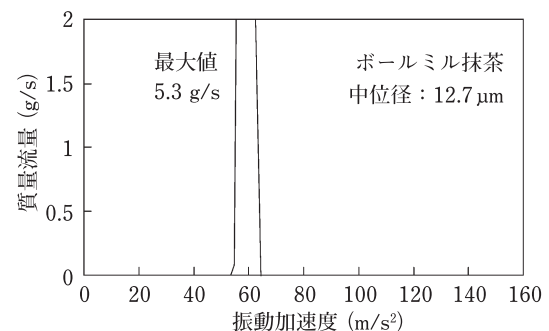


図 3 ボールミル抹茶の流動性試験（湿度 45%）

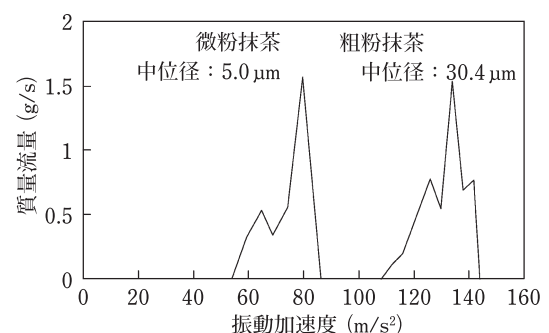


図 4 微粉抹茶と粗粉抹茶の流動性試験（湿度 45%）

表 3 抹茶の流動性評価 (試験-2)

	関係湿度 (%)	振動加速度 (m/s^2)					
		流動開始	流動終了	〔終了－開始〕	流動開始	流動終了	〔終了－開始〕
		除電なし			除電あり		
石臼一番抹茶	70	78	97	19	54	87	33
〃	62	77	105	28	67	101	34
石臼二番抹茶	70	106	126	20	84	112	28
石臼四番抹茶	70	55	99	44	76	97	21

ル抹茶は、流動開始から終了までの差が 6 m/s^2 と非常に小さく流動性の分布は狭かった。

微粉抹茶と粗粉抹茶の流動開始振動加速度を比較すると、それぞれ 54 m/s^2 , 109 m/s^2 であり、大きな違いが見られたが、流動終了との差は 32 m/s^2 , 35 m/s^2 であり、ほぼ同じ値であった。ボールミルによって粉碎した同じ抹茶を微粉と粗粉に分けることによって、流動開始から終了までの差に違いが生じたのは興味深い。分級によって得られた微粉抹茶と粗粉抹茶のカテキン量、アミノ酸量などを比較するとほぼ同じであり、分級による差は見られなかった。粒度分布の違いは均一度に表れる。微粉抹茶の均一度は他の抹茶のものよりも低く¹⁾、これが流動性を高めた原因のひとつと考えられる。

石臼抹茶の中位径 ($11.4 \mu\text{m}$) はボールミル抹茶のそれ ($12.7 \mu\text{m}$) と大きな違いはなく、流動性試験で見られた両者の大きな違いについては、他の要因が関与しているものと考えられる。この 2 種類の抹茶は、中位径や粒度分布は似ているが、粉碎方法が異なり、石臼抹茶は非常に帯電しやすい。石臼抹茶を振動管に充填するのが非常に難しかったのは、静電気力のためであり、これが流動性を低下させた要因と考えられる。なお、試験時の湿度が 45% と比較的低かったことも、静電気力の影響を強めた原因と考えられる。

Carr の流動性指数では、粉碎方法や粒度の違いによる粉体流動性への影響を十分に見いだせなかったが、本試験では、これらの違いを確実に評価できた。

2. 試験-2

流動性に及ぼす帯電の影響を調べるために、石臼で摘採時期の異なる抹茶を粉碎し流動性試験を行った。また、除電による流動性改善の効果および湿度の影響についても実験で確認することにした (表 3)。

流動開始振動加速度を比較すると、除電 (帯電制御) の有無にかかわらず、石臼二番抹茶の測定値が大きく、流動性が低いことが分かった。

帯電制御の有無を比較すると、石臼四番抹茶を除いて、除電を実施したものの方が、流動開始振動加速度は小さくなっており、流動しやすいことが分かる。石臼一番抹茶において、湿度の違いを比較すると、湿度 70% では、除電に

よる振動加速度の低下は 24 m/s^2 であり、湿度 62% の 10 m/s^2 よりも大きく、高湿度の方が除電の効果が得られやすいことが分かった。

流動終了振動加速度について、同様の比較を行った結果、摘採時期の影響、除電の効果および湿度の影響に関して、振動開始振動加速度とほぼ同様の結果が得られた。

試験-1, -2 の結果から、以下のことが分かった。石臼抹茶は、器壁との接触によって帯電しやすく流動性は低かった。一方、ボールミル抹茶は帯電しにくく流動性は高かった。また、除電により流動性の改善を図ることが可能であり、湿度を上げて帯電量を下げると流動性は高くなるが、湿度を上げすぎると抹茶の品質に大きな影響を及ぼすので¹⁰⁾、適度な湿度に保つ必要がある。微粉抹茶と粗粉抹茶の流動性の違いは興味ある結果であったが、粒度分布以外に形状などの影響についても検討していく必要がある。

Carr の流動性指数では、各抹茶の流動性の評価が不十分であったが、本粉粒体流動性試験装置を用いることにより、流動性に及ぼす帯電や粒度の違いを十分に把握できた。

通常の振動管式粉粒体流動性試験法では、十分な量の試料を予め投入して、振動強度を時間とともに増加させながら、一定時間、試料を振動管から排出させて、流動開始振動加速度、流動安定性、流動量などを評価するが⁸⁾、本実験では、一定量の試料を投入して、全量を排出させることにより、流動開始振動加速度に加えて流動終了振動加速度を評価しており、これまで不明であった抹茶の流動性に影響する原因を明らかにすることができた。これらの結果を元に、除電や湿度調整を行うことによって、実プロセスの作業性の向上を図る予定である。

要 約

抹茶の流動性試験の結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 石臼抹茶、ボールミル抹茶、微粉抹茶の流動開始振動加速度はほぼ同じであった。粗粉抹茶は、流動を開始するのに強い外力を要した。
- (2) ボールミル抹茶は、流動開始振動加速度と終了加速度が近接しており、非常に流動性が良かった。
- (3) 石臼抹茶は、帯電しやすく流動性は低かった。帯電

は湿度と関連しており，抹茶を取り扱うときはある程度の湿度を保つ方ことで流動性が良くなる。

(4) 抹茶は帯電制御によって流動性が向上するので，抹茶を扱うプロセスには除電設備を備えるのが望ましい。

(5) Carr 流動性指数では，粉碎方法の異なる抹茶の差は小さかったが，本粉粒体流動性試験装置を用いることによって，抹茶の流動性の違いを明確に評価できた。

文 献

- 1) 原口康弘，今田幸男，沢村信一，加工用微粉抹茶の製造と性質，食科工，**50**，468-473 (2003)。
- 2) 大西市造，抹茶の正体，「茶道学大系一八 茶の湯と科学」，堀内國彦編，(淡交社，京都)，pp. 195-221 (2000)。
- 3) 鈴木 徹，金 有珍，伊藤 裕，高井陸雄，ボールミル処理によるポテトスターチの安息角の変化，粉体工学会誌，**39**，449-453 (2002)。
- 4) 岡田寿太郎，松田芳久，和田泰亨，混合粉体の流動性，薬誌，**88**，647-650 (1968)。
- 5) Carr, R.L., Evaluating flow properties of solids, *Chem. Eng.*, **18**, (January), 163-168 (1965).
- 6) Carr, R.L., Classifying flow properties of solids, *Chem. Eng.*, **18**, (February), 69-72 (1965).
- 7) Jiang, Y., Matsusaka, S., Masuda, H. and Yokoyama, T., Evaluation of Flowability of Composite Particles and Powder Mixtures by a Vibrating Capillary Method, *J. Chem. Eng. Japan*, **39**, 14-21 (2006).
- 8) 石井克典，鈴木政浩，山本琢磨，木原義之，安田正俊，松坂修二，簡素化ペレット法 MOX 原料粉末の流動性評価への振動細管法の適用性検討，粉体工学会誌，**45**，290-296 (2008)。
- 9) Jiang, Y., Matsusaka, S., Masuda H. and Qian, Y., Development of measurement system for powder flowability based on vibrating capillary method, *Powder Technol.*, **188**, 242-247 (2009).
- 10) 原口康弘，佐野 仁，中里賢一，外丸和男，寄下雅子，荒川雅人，沢村信一，原料抹茶の保存条件が品質に与える影響，茶研報，**93**，1-8 (2002)。

(平成 20 年 7 月 30 日受付，平成 20 年 11 月 17 日受理)